環境對玉米雜種優勢的影響

黃懿秦　曾美倉　王能啓
國立臺灣大學農藝學系

摘　要

本報告在探討年度差異、生長溫度、栽植密度及氮肥施用量等環境因子對玉米雜種優勢之影響。綜合過去前人之研究，及本研究室近年來之試驗結果，發現玉米農藝性狀雜種優勢之表現，極可能因所使用之親本基因型及F_1雜交種之組合不同而對外在環境因子之反應有所不同。欲藉由栽培管理方式來調控玉米F_1雜種優勢之表現，由本綜合報告中看來，是無法事先加以預測的。

關鍵詞：玉米、雜種優勢、年度、溫度、栽植密度、氮肥。

前　言

早在本世紀初，玉米的雜種優勢就被學者們注意，隨後被廣泛地應用於雜交種的育種及生產上 (Sprague, 1983)。自 1930 年代起至今雜交種的利用對玉米產量的提升提供了 60% 的貢獻 (Cardwell, 1982)。但環境因子對雜種優勢的影響常被人忽略，而這方面的研究也不多見，到底在何種環境下玉米的雜種優勢有最大的表現，是一個值得探討的問題。本文將就年度差異、生長溫度、栽植密度及氮肥施用量等方面，綜合前人的研究和本研究室近年來的試驗結果，對玉米雜種優勢在不同環境下的反應提出簡要的敘述及說明，以為玉米育種者之參考。

不同環境因子對玉米雜種優勢的影響

一、年度

Ulger 和 Becker (1989) 利用了 8 個玉米硬粒種和8個馬齒種玉米自交系為親本及它們的 16 個 F_1 雜交組合為材料，在 1983 及 1984 二年進行各農藝性狀雜種優勢 (F_1-MP/MP × 100%) 的估算，結果如表 1，由表1可知開花日數及蛋白質含量 (%) 外，其餘各性狀都有正向的雜種優勢表現，而其中子實產量 (q/ha) 的雜種優勢最大。比較 1983 及 1984 二年之環境條件，1984 年的生育環境比 1983 年差，當年自交系親本開花遲、株高低又低產，然而 1984 年的雜種優勢比 1983 年來得高。

二、溫度

30 年前 McWilliam 和 Griffing (1965) 就利用了 2 個玉米自交系38-11、K4 及它們的正反交 F_1 雜交組合為材料，在 9 種溫度下〔由 15/10℃（日/夜溫）起，每增加 3℃ 為一級，至 39/34℃ 止〕，測定相對生長速率的雜種優勢(F_1-MP)，其結果如表 2 所示，

Table 1. Influence of years on average parental performance (P) and on heterosis ($F_1 - P$).

Character	Year	P	Heterosis	
			Absolute	%
Days to flower	1983	84.90	-6.24**	-7
	1984	119.17	-12.20**	-10
Plant height (cm)	1983	125.93	62.77**	50
	1984	95.54	100.90**	106
Ear height (cm)	1983	50.09	36.84**	74
	1984	40.52	40.98**	101
Leaf area index	1983	1.78	1.51**	85
	1984	1.40	1.69**	121
Erect plants	1983	87.03	1.27ns	1
at harvest (%)	1984	67.31	12.94**	19
Grain yield	1983	31.25	34.94**	112
(q/ha)	1984	6.74	49.59**	736
Ears/plant	1983	0.94	-0.03**	-3
	1984	0.74	0.23**	31
Grain weight/ear (g)	1983	37.30	41.35**	111
	1984	11.06	51.15**	463
Grains/ear	1983	160.86	118.09**	73
	1984	84.79	209.21**	247
1000-kernel	1983	231.86	51.69**	22
weight (g)	1984	128.44	82.68**	64
Dry matter	1983	55.20	2.96**	5
content (%)	1984	36.91	11.68**	32
Protein	1983	12.24	-1.70**	-14
content (%)	1984	13.43	-2.27**	-17
Protein yield	1983	3.27	2.69**	82
(q/ha)	1984	0.77	4.57**	596

**, ns: heterosis significant with P=0.01 or non significant, respectively (Ulger & Becker, 1989).

由表 2 可知，在各級溫度下，F_1 都有雜種優勢的表現，但在 18/13℃ 以下及 36/31℃ 以上的雜種優勢最大，這主要是因親本自交系的表現相對地大幅降低，而 F_1 的表現比其親本要好的原故，同時 F_1 在不同溫度變級下，其表現型的穩定性也比親本來得好。McWilliam 和 Griffing 又利用同一組材料，於播種後在 27/22℃ 下生長 21 天，然後分別在播種後 21-33 天、33-45 天、45-57 天三個時期給予玉米高溫 (41/32℃) 處理 (heat shock)，估算玉米植株的乾物重雜種優勢的表現，結果如表 3。由表 3 知當熱處理次數愈多，雜種優勢愈大，而且隨熱處理次數的增加，雜種優勢有累加的效果。與前述方法大致相同，McWilliam 和 Griffing 另外又利用了4組玉米半自交系及它們的正反交 F_1 進行 2 小時之 50℃ 短時間熱處理，結果如表 4，由表 4 知，雖然是短時間的熱處理，但雜種優勢的反應亦隨熱處理次數的增加而增加。總結的來說，這整個試驗證明玉米植株乾物重之雜種優勢隨溫度之升高而增加，它是一種 temperature-dependent 的雜種優勢。

Table 2. Values for relative growth rate* of heterosis (F_1 －MP) at each temperature.

10^3 × Relative growth rate (g/g/day)								
15/10℃	18/13℃	21/16℃	24/19℃	27/22℃	30/25℃	33/28℃	36/31℃	39/34℃
13.4±0.4	6.3±0.4	2.0±0.3	2.8±0.4	4.2±0.3	5.3±0.3	5.2±0.4	7.5±0.4	20.2±0.6

*Relative growth rate R = 1/t • $\log_e$(wt/w0) (modified from McWilliam & Griffing, 1965)

Table 3. Heterosis (F_1 -MP) following heat-shock treatments of long duration.

Control	Heat-shock Treatment T_1			Heat-shock Treatment T_2			Heat-shock Treatment T_3
	A	B	C	A B	A C	B C	A B C
0.189	0.298	0.388	0.243	0.545	0.448	0.435	0.616

A: First heat-shock period; B: Second heat-shock period; C: Third heat-shock period. (modified from McWilliam & Griffing 1965).

Table 4. Numerical values for temperature-dependent heterosis for various short duration heat shock combinations.

Contrast Designation	Treatment Contrast C_1 T_1	C_2 T_2	C_3 T_3
H_1	-0.049	1.800	7.438**
H_2	3.560*	1.888	6.510**
H_3	-1.754	0.981	7.373**
H_4	0.857	3.776**	8.451**

* and **: Significant at 5% and 1% level, respectively. (modified from McWilliam & Griffing, 1965).

Rood 等人(1985) 的研究，利用 CM7×CM49 玉米 F_1 組合及其親本，在 25/20、25/15 及 20/10℃（日/夜溫）三種溫度處理下，觀察玉米幼苗的乾重、幼苗株高及 GA 含量(GA-like substances)雜種優勢的表現。其雜種優勢利用 potenecratio 表示之 [potence ratio=(maternal-MP)/(F_1 -MP)=h/d]，在表 5 中顯示溫度對玉米幼苗高度、乾物重及 GA 含量雜種優勢的影響。由表 5 知，上述三個性狀雜種優勢的表現隨溫度之下降而減少。但 Rood 等人 (1988) 的試驗中，進一步利用了 4 個玉米自交系 A632、B73、CH607-44 和 CO109 和它們的完全全互交 16 個組合爲材料，在 30/20、25/15 及 20/10℃（日/夜溫）三種溫度處理下，測定幼苗乾重、幼苗高度、葉面積及相對生長速率的 potence ratio (PR) 值，探討溫度對雜種優勢表現的影響。結果如表 6 所示，由表 6 知，上述 4 個性狀都有不錯的雜種優勢，在幼苗乾重，其 PR 值在 20/10℃ 最高，在 25/15℃下最低；而葉面積的 PR 值在 30/20℃ 下最高，25/15℃ 下最低；幼苗高度卻在 25/15℃ 有最高的 PR 值，在 30/20℃ 下 PR 值最低；相對生長速率亦以 25/15℃ 下其 PR 值最高，30/20℃ 下最低，由此結果知，低溫處理並不一定會使得雜種優勢降低或消失，但也不會因此而增強，此結果與 McWilliam 和Griffing (1965) 及 Rood 等人 (1985) 的研究結果並不一致。在低、中、高三種溫度下，玉米各性狀雜種優勢的表現程度並不因此而受影響，而主要還是受到親本基因型的控制。

Table 5. Potence ratio for the characteristics in maize hybrid CM7×CM49.

Temperature (℃)	Potence ratio Height	Weight	GA content
25/20	3.6	11.0	12.2
25/15	0.8	4.1	3.7
20/10	0.4	2.3	-1.2

(modified from Rood et al., 1985)

Table 6. Mean potence ratios of a four-parent diallel of maize at three temperature regimes.

Temperature (℃)	Potence ratio Shoot dry weight	Leaf area	Height	Relative growth rate
30/20	24.2	18.4	5.0	2.7
25/15	11.3	14.8	10.8	13.3
20/10	30.5	16.7	6.8	4.7

(modified from Rood et al., 1988)

三、栽植密度

Rutger (1971) 在 37,000、62,000 及 86,000 株/公頃三種栽植密度下，一共利用了 7 個玉米 F_1 組合及它們的自交系親本比較它們的產量，結果如表 7 所示。由表 7 可知，在最低栽植密度下 (37,000 株/公頃)，玉米子實產量 (q/ha) 有最大的雜種優勢百分比 [(F_1 -MP)/MP × 100%]。平均來說，子實產量的雜種優勢的表現隨栽植密度之增加而減少。

Table 7. Effect of population density on the heterosis (%) of grain yield in maize hybrids.

Genotype	Population density (plants/ha)		
	37,000	62,000	86,000
W153R × Pa33	57.5	58.7	61.7
Pa703 × Pa36	138.5	121.0	63.2
A619TRF × MS1334TRF	109.5	83.5	73.1
W64A × A297	95.0	78.8	69.7
NY821 × Pa83	112.1	97.8	107.0
153TRF × A616TRF	96.7	79.3	78.0
W64A × A619	120.0	111.8	102.0

Heterosis (%)=(F_1-MP)/MP × 100% (modified from Rutger, 1971).

Huang 等人 (1991) 利用 B64、CUF-4-1、H-11-12-1-1 和 T6252等 4 個玉米自交系及其交配所得之全互交 12 個 F_1 組合爲材料，在 36,000、50,000 及69,400 株/公頃 (即 80×35，80×25，80×18 cm 之行株距) 三種栽植密度下，探討玉米雜種優勢 (F_1 -MP) 的表現。其結果如表 8 所示，由表 8 顯示，玉米各農藝性狀在三種栽植密度下都有顯著的雜種優勢值，其中以果穗重 (kg /4.8 m^2) 和子實重 (kg/4.8m^2) 有最大的雜種優勢百分比，而且雜種優勢隨栽植密度的增加而上升，在 69,400 株/公頃的密度下雜種優勢最大。其他農藝性形之雜種優勢的表現亦呈現類似的趨勢。

爲期望更深入瞭解栽植密度對玉米雜種優勢之影響，黃等人 (1993 未發表) 又利用了 4 個自交系 ICAL221、ICAL210、TA2598 及 Hi31 (均由臺灣省農業試驗所提供) 及它們的組合 ICAL221 × TA2598 和 ICAL210 × Hi31 (即臺農 1 號) 的 F_1、F_2 世代爲材料，在 31,250、62,500 及 104,160 株/公頃之栽植密度下，進行各農藝性狀雜種優勢百分比之估算(雜種優勢百分比=2(F_1 -F_2 /F_1 × 100 %)。現僅以子實產量 (g/4.8 m) 爲例，說明栽植密度對雜種優勢的影響，其結果如表 9 所示，由表 9 可知，ICAL221 × TA2598 之雜種優勢平均比 ICAL210 × Hi31 來得大，在 31,250 株/公頃的密度下，其子實產量的雜種優勢的表現最優 (90.4%)，隨栽植密度之增加雜種優勢的百分比隨之下降， 至 104,160

Table 8. Effect of planting density on mid-parent (MP) and heterosis (H) of nine agronomic traits.

Trait	Planting density	MP	H	
			value	absolute%
Plant height (cm)	S1	224.3	43.3**	19
	S2	212.3	46.5**	22
	S3	219.4	41.3**	19
Ear height (cm)	S1	94.1	21.5**	23
	S2	90.8	19.6**	22
	S3	95.4	20.9**	22
Ear length (cm)	S1	11.2	4.5**	40
	S2	11.4	3.8**	34
	S3	11.6	3.7**	32
Ear diameter (cm)	S1	3.8	0.9**	23
	S2	3.8	0.8**	21
	S3	3.7	0.8**	22
Cob diameter (cm)	S1	2.5	0.4**	15
	S2	2.6	0.3**	11
	S3	2.6	0.3**	11
No. of rows	S1	14.3	1.1**	8
	S2	14.0	1.1**	8
	S3	14.1	1.5**	11
Ear weight (kg/4.8 m^2)	S1	1.36	2.22**	163
	S2	1.27	1.90**	150
	S3	1.35	1.87**	139
Grain weight (kg/4.8m^2)	S1	1.04	1.91**	184
	S2	0.95	1.64**	172
	S3	1.02	1.67**	164
1000-kernel weight (g)	S1	195.7	72.3**	37
	S2	193.3	66.4**	34
	S3	199.4	51.8**	26

**:Heterosis significant with P=.01. S1, S2 and S3 is 69,400, 50,000 and 36,000 plants/ha, respectively (Huang et al., 1991)

株/公頃時，雜種優勢百分比為 66.4% 。

而 ICAL210×Hi31 的組合在 62,500 株/公頃的栽植密度下，其子實產量的雜種優勢百分比與 31,250 株/公頃下的雜種優勢相近 (40% 左右)，但至 104,160 株/公頃密度時，雜種優勢下降至 20% 。此試驗結果與先前 Huang 等人 (1991) 的結果不一致，此可能估算雜種優勢百分比時所利用之公式或利用之玉米基因型不同而有造成差異。不過要注意的是不論 ICAL221×TA2598 或 ICAL210×Hi31，其絕對的子實產量均隨栽植密度之升高而增加。

Table 9. Effect of population density on the heterosis of grain yield (g/4.8 m²) in two maize hybrids.

Genotype	S1*		S2		S3	
	$\bar{X}$	SE	$\bar{X}$	SE	$\bar{X}$	SE
A1**	868	69	1701	165	1855	168
A2	1452	99	2208	110	2745	135
AF1	2460	120	3390	171	4620	251
AF2	1347	53	2184	99	3085	206
H	90. 4		71. 1		66. 4	
B1	1327	55	2286	77	2350	118
B2	999	43	1773	75	1935	84
BF1	2305	118	3036	143	3170	161
BF2	1842	59	2400	111	2850	126
H	40. 1		41. 9		20. 2	

* S1: 31,250 plants/ha, S2:62,500 plants/ha, S3: 104,160 plants/ha 。

**A1: ICAL221, A2: TA2598, AF1: F1(A1×A2), AF2: F2(A1×A2)

B1: ICAL210, B2: HI31, BF1: F1(B1×B2), BF2: F2(B1×B2)

$H=2(F_1-F_2)/F_1 \times 100\%$.

四、氮肥

Ulger 和 Becker (1989) 利用與上述年度比較試中相同的材料進行氮肥之處理，有效氮之施用量分別為 80 、160、240 kg/ha；分析各農藝性狀之雜種優勢結果如表 10 所示，依表 10 可知，除蛋白質含量 (%) 呈顯著的負向雜種優勢外，其他性狀都有顯著的正向雜種優勢的表現，而其中以子實產量 (q/ha) 的雜種優勢最大。平均來說，當氮肥施用量較低時 (80-160 kg/ha)，雜種優勢方能表現的最大。

而 Huang 等人 (1991) 利用 4 個玉米自交系及其交配所得之完全全互交共 16 種基因型為材料，自交系親本同前述栽植密度試驗

所利用者。在 160 kg/ha 及 240 kg/ha 二種氮肥施用量下，估算不同農藝性狀之雜種優勢 (F_1-MP) 之表現，結果如表 11 所示，由表 11 知，除果穗重 (kg/4.8m²) 及子實重 (kg/4.8 m) 在 160 kg/ha 的氮肥下比在 240 kg/ha 的氮肥用量下有較高的雜種優勢外，其餘各性狀在上述 2 種氮肥施用量下雜種優勢的表現沒有太大的差異。

黃等人 (1994，未發表) 更進一步探討氮肥對玉米子實產量及其構成要素雜種優勢 (F_1-MP) 的影響，利用台灣省農業試驗所提供之 ICAL210、Hi26 及 Hi31 等 3 個自交系及 ICAL210 × Hi26、ICAL210 × Hi31 (即臺農1號) 兩個 F1 組合，在 25、150 及 300 kg/ha 有效氮施用量下，於 1993 秋及 1994 春兩作在臺北市臺大農業試驗場進行試驗，初步所得子實產量之結果列於表 12，由表 12 知，不論期作，ICAL210 × Hi31 的子實產量(g/plant) 隨氮肥施用量之提高而增加，其雜種優勢亦隨氮肥施用量增加而上升，而 ICAL 210 × Hi26 子實產量雜種優勢之表現卻隨氮肥施用量之增加而下降，其絕對子實產量與雜種優勢之表現呈相同之趨勢。其他如果穗重 (g/ear)、百粒重、每穗子實數、每穗子實行數及生物量 (g/plant) 等性狀，在上述 2 個組合中，分別與其子實產量對氮肥施用量有相同的趨勢。而不論 F_1 組合，莖桿重 (g/plant)、果穗長、子實深度等性狀在氮肥施用量增加後，其雜種優勢有下降的趨勢 (資料未列出)。又經複迴歸分析，發現影響子實產最重要的產量構成要素依次爲每穗子實數及百粒重 (資料未列出)，此結果大致與 Leng (1954) 的發現相近。

Table 10. Influence of nitrogen treatment on average parental performance (P) and on heterosis (F_1 -P)

Character	Nitrogen treatment (kg/ha)	1983			1983		
		P	Heterosis		P	Heterosis	
			Abs.	%		Abs.	%
Plant height (cm)	80	117.19	66.26**	57	92.03	98.13**	107
	160	128.89	60.69**	47	94.73	104.33**	110
	240	131.72	61.36**	47	99.86	100.25**	100
Leaf area index	80	1.64	1.51**	92	1.31	1.78**	136
	160	1.77	1.57**	89	1.40	1.76**	126
	240	1.93	1.47**	76	1.49	1.72**	116
Grain yield (q/ha)	80	28.24	33.57**	119	7.16	46.63**	651
	160	31.69	34.80**	110	6.23	50.17**	805
	240	33.82	36.47**	108	6.82	51.96**	762
Protein content (%)	80	11.81	-2.12**	-18	13.23	-2.43**	-18
	160	12.29	-1.59**	-13	13.51	-2.27**	-17
	240	12.62	-1.37**	-11	13.55	-2.10**	-15
Root dry matter (g)	80	0.77	0.42**	54	-	-	-
	240	0.95	0.89**	93	-	-	-

**Heterosis significant with P=0.01 (Ulger & Becker 1989)

Table 11. Effect of nitrogen rate on mid-parent performance (MP) and heterosis (H) of nine agronomic rates.

Trait	Nitrogen rate	MP	H value	H absolute%
Plant height (cm)	N1	221.8	39.0**	18
	N2	215.6	48.4**	22
Ear height (cm)	N1	94.6	20.7**	22
	N2	92.3	20.7**	22
Ear length (cm)	N1	11.5	4.1**	36
	N2	11.3	3.9**	35
Ear diameter (cm)	N1	3.8	0.8**	22
	N2	3.7	0.8**	23
Cob diameter (cm)	N1	2.6	0.3**	12
	N2	2.5	0.3**	13
No. of rows	N1	14.2	1.3**	9
	N2	14.1	1.2**	9
Ear weight (kg/4.8m^2)	N1	1.34	2.09**	155
	N2	1.30	1.90**	146
Grain weight (kg/48m^2)	N1	1.02	1.83**	180
	N2	0.99	1.65**	166
1000 kernel weight(g)	N1	1.98	67.0**	34
	N2	1.94	58.9**	31

**: Heterosis significant with P=.01. N1 and N2 is 160kg and 240kg/ha respectively. (Huang et al 1991)

Table 12. Effect of nitrogen rate on the heterosis of grain yield (g/plant) in two maize hybrids.

Season		Genotype*	Nitrogen rate (kg/ha)			LSD
			25	150	300	
Fall 1993	1	A	38.7e#	54.2cde	65.4bcd	16.70
		B	50.3de	80.6b	70.0bc	
		B×A	99.7a	109.6a	99.0a	
		H1 **	124.04	62.61	46.23	
	2	B	62.5cd	77.9bc	78.5bc	22.12
		C	31.7e	54.9d	52.7de	
		B×C	86.2b	118.1a	128.0a	
		H2	83.01	77.86	95.12	
Spring 1994	1	A	61.3cd	64.6c	43.2d	20.88
		B	59.8cd	59.6cd	53.8cd	
		B×A	96.7b	124.3d	104.1ab	
		H1	59.70	100.16	114.64	
	2	B	59.8c	59.6c	53.8cd	19.55
		C	39.3d	47.2cd	38.2d	
		B×C	90.7b	126.6a	140.5a	
		H2	83.05	137.08	205.43	
Overall mean	1	A	50.0d	59.3cd	54.3d	12.85
		B	55.0d	70.0c	61.9cd	
		B×A	98.1b	116.9a	101.5b	
		H1	86.86	80.82	74.70	
	2	B	61.1cd	68.7c	66.1c	14.19
		C	35.3f	51.0de	45.2ef	
		B×C	88.4b	122.3a	134.2a	
		H2	83.40	104.34	141.15	

*A:HI26, B:ICAL210, C:HI31.

**H1: heterosis of ICAL210×HI26 (BxA), H2: heterosis of ICAL210× HI31 (B×C).

Heterosis (%)=(F_1-MP)/MPx100%

討　論

在生理基礎上，玉米雜種優勢的表現一直沒有定論，基本上有兩個假說闡釋雜種優勢，其一爲酵素的多型性 (enzymic polymorphism)(Schwartz 和 Laughner, 1969)，其二爲基因組間 (或胞器間) 的互補 (intergenomic complementation)，例如粒腺體、葉綠體或細胞核間的交感 (Srivastava, 1983)。這兩種假說都認爲當雜種的代謝歧異度 (metabolic diversity) 增加時，它們對環境適應的能力就加大，如此雜種優勢就能表現。也就是說，雜種在不良環境下，它的表現會比其親本好，並且可能可以加以預測。如 McWilliam 和 Griffing (1965) 的溫度試驗結果顯示，當溫度上升或降低 (比適當溫度 optimum temperature 高或低)，玉米雜種優勢的表現就增加，Huang 等人 (1991) 的試驗結果顯示高密度栽植下 (69,400 株/公頃) 玉米有最大的雜種優勢；Ulger 和 Becker (1989) 發現生育環境差的年度中，玉米的雜種優勢表現較佳，他們同時也發現低氮肥施用量 (80-160 kg/ha) 下的雜種優勢較高，這些試驗結果符合了上述的推論。但 Rood 等人 (1988) 的試驗結果發現環境因素 (溫度) 的改變對玉米雜種優勢的大小沒有影響，他們認爲 F_1 的表現並不是由於對環境逆境的忍受力較大之故，而是可能與其親本的適應性有關；Rutger (1971) 和 Huang 等人 (1993，未發表) 的栽植密度試驗均顯示玉米雜種優勢在低栽植密度下有較佳的表現。而 Huang 等人 (1994，未發表) 之試驗資料顯示，不同雜交組合之玉米 F_1 對氮肥的反應有截然不同的趨勢，一是當氮肥施用量增加，F_1 的產量亦隨之繼續增加，即所謂的 high-fertility hybrid，一是當氮肥施用量增加，但 F_1 的產量增加至某一階段後不再增加，此即爲所謂的 low-fertility hybrid，因此在估算雜種優勢 (如產量性狀) 就可能因基因型之不同而所得之結果就有不同了。此與 Rood 等人 (1988) 的結論頗爲符合，因此欲瞭解玉米各農藝性狀在不同環境下其雜種優勢的反應，可能因使用之材料不同而有所差異，無法一概而論，而必須針對某一基因型的反應來討論，在此情形下，F_1 雜種之表現亦必須經過實際的評估後方能確知，無法於事前加以預測或調控了。有關的問題，需更進一步的加以探討。

誌　謝

有關本研究室近年來在栽植密度及氮肥施用量對玉米雜種優勢的影響之研究上承行政院農業委員會經費補助 [82 科技-2.1-糧-33(3-2)，83 科技-2.1-糧-11(3-2)]，特此致謝。

引用文獻

1.Cardwell, V. B. 1982. Fifty years of Minnesota corn production: Sources of yield increase. Agron. J. 74:984-990.

2. Huang, Y. C., Y. M. Pong, and M. T. Tseng. 1991. Effect of nitrogen rate and planting density on the degree ofheterosis in maize. Chinese Agron. J. 1:115-130.

3. Leng, E. R. 1954. Effect of Heterosis on the major components of grain yield in corn. Agron. J. 46:502-506.

4. McWilliam, J. R. and B. Griffing. 1965. Temperature-dependent heterosis in maize. Aust. J. Biol.Sci. 18:569-583.

5. Rood, S. B., D. J. Major, M. D. Jones, and R. P. Pharis. 1985. Low temperature

eliminates heterosis for growth and gibberellin content in maize. Crop Sci. 25:1063-1068.

6.Rood, S. B., R. E. Buzzell, and M. D. MacDonald. 1988. Influence of temperature on heterosis for maize seedlinggrowth. Crop Sci. 28:283-286.

7. Rutger, J. N. 1971. Effect of plant density on yield of inbred lines and simple crosses of maize (*Zea mays* L.). Crop Sci. 11:475-476.

8. Schwartz, D. and W. J. Laughner. 1969. A molecular basis for heterosis. Science 166: 626-627.

9. Sprague, G. F. 1983. Heterosis in maize: theory and practice. In:Heterosis: Reappraisal of Theory and Practice (ed. by Frankel, R.), pp.47-70. Springer -Verlag, New York.

10. Srivastava, H. K. 1983. Heterosis and intergenomic complementation: mitochondria, chloroplast, and nucleus. InHeterosis: Reappraisal of theory and practice (ed. by Frankel, R.). pp.260-286. Springer-Verlag, New York.

11. Ulger, A. C. and H. C. Becker. 1989. Influence of year and nitrogen treatment on the degree of heterosis inmaize. Maydica 34: 163-170.

Influence of Environments on the Degree of Heterosis in Maize

Yih-Ching Huang, Mei-Tsang Tseng, and Lau-Chi Wang

Department of Agronomy

National Taiwan University

Taipei, Taiwan

This report reviews the studies of the effect of years, temperature, population density and nitrogen rate on the degree of heterosis in maize. Both of other researchers' and our results indicate that the degree of heterosis varies greatly with the genotypes of the F hybrids used in these experiments. Consequently, it is difficult to predict and manipulate the expression of the heterosis by controlling the external environmental factors. The hypothesis of buffering capacity resulted from overdominance to unfavorable growth conditions is also discussed.

Keywords:Maize, Heterosis, Years, Temperature, Population density, Nitrogen rate.